

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Dopravní technika a technologie

Posouzení vybraných vlastností brzdového systému

Assessment of Brake System Properties

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Matěj Kupčík
Ing. Michal Richtář Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Matěj Kupčík**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2301R003 Dopravní technika a technologie**
Téma: **Posouzení vybraných vlastností brzdového systému**
Assessment of Brake System Properties
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Cílem je posoudit vlastnosti brzdového systému vybraného vozidla.

Osnova:

1. Úvod
2. Teoretický rozbor problému
3. Návrh posuzovaných parametrů
4. Posouzení vybraných parametrů
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

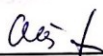
Matějka, R. Vozidla silniční dopravy I. Bratislava: Alfa Bratislava, 1990. ISBN 80-05-00392-7.
Matějka, R. Vozidla silniční dopravy II. Bratislava: Alfa Bratislava, 1990. ISBN 80-7100-074-4.
Kovanda, J., Resl, I., Socha, J.: Konstrukce automobilů. Praha: ČVUT Praha, 1997. 120 pp., ISBN 80-01-01624-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Richtář, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou*) práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

.....
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Matěj Kupčík
Adresa trvalého pobytu autora práce: Sušilova 10, Opava, 74601

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KUPČÍK, M. *Posouzení vybraných vlastností brzdového systému vozidla*. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2018, Bakalářská práce, vedoucí: Richtář, M.

V této práci je teoreticky popsána a prakticky zkoušena problematika brzdového systému vozidla. Konkrétně se jedná o brzdnu dráhu a brzdné zpomalení vozidla dle předpisu EHK, když nebudou dodrženy některé jeho podmínky. Zároveň je zkoumán vliv teploty brzd na součinitel tření mezi brzdovými plochami. Úvodní část práce je zaměřena na základní teorii ohledně brzdových systémů a brzd, jejich rozdělení a funkce. Následně jsou rozvedeny porovnávané parametry, což jsou technické specifikace vozidla použitého k testování, podmínky EHK předpisu a metodika zkoušky. V závěrečné části bylo provedeno číselné i grafické zpracování změřených dat a vyvozen závěr.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

KUPČÍK, M. *Assessment of Brake System Properties*. Ostrava: Institute of Transportation, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB-Technical University of Ostrava, 2018, Bachelor thesis, Head of Bachelor Thesis: Richtář, M.

In this bachelor thesis, the problematics of the vehicle braking system is theoretically described and practically tested; the braking distance and deceleration of the vehicle according to the EHK regulation, when some of its conditions are not met. The influence of the brake temperature on the coefficient of friction between the brake surfaces is going to be examined at the same time. The first part of the thesis is focused on the basic theory of brake systems and brakes, their division and functions. Subsequently, the compared parameters are analyzed, those are: the technical specifications of the vehicle used for testing, the EHK Regulation conditions and the test methodology. In the final part, the numerical and graphic processing of the measured data was made and so was the conclusion.

Obsah

Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	9
Seznam použitých zkratk	10
1. Úvod	11
2. Teoretický rozbor problému	12
2.1. Brzdy a Brzdové soustavy	12
2.1.1. Přímochinné brzdové soustavy	15
2.1.2. Soustavy s mechanickým převodem	15
2.1.3. Soustavy s kapalinovým převodem	16
2.1.4. Přímochinné soustavy s posilovačem	19
2.2. Kolové brzdy	21
2.2.1. Kotoučová brzda	22
2.2.2. Bubnová brzda	23
2.3. Vliv teploty brzd na brzdnou dráhu vozidla	25
2.3.1. Zkouška AMS	25
3. Návrh posuzovaných parametrů	26
3.1. Předmět posuzování	26
3.2. Hypotéza výsledku	26
3.3. Testovací vozidlo	26
3.3.1. Technické specifikace vozidla	28
3.3.2. Bližší specifikace brzdového systému vozidla	29
3.3.3. Přední brzdy	29
3.3.4. Zadní brzdy	29
3.3.5. Pneumatiky vozidla	30
3.4. EHK požadavek na brzdnou dráhu	31
3.4.1. Podmínky zkoušky	32

3.4.2.	Účinky brzdových systémů.....	32
3.5.	Metodika zkoušky	33
3.6.	Statistická analýza	34
3.7.	Místo konání zkoušky.....	35
3.8.	Popis měřicího přístroje.....	36
4.	Posuzování vybraných parametrů.....	38
4.1.	Výsledky měření.....	38
4.1.1.	Brzdná dráha	39
4.1.2.	Brzdné zpomalení	43
4.1.3.	Teplota Brzd	47
5.	Závěr.....	50
	Seznam použité literatury	51

Seznam obrázků

Obr. 1 – Příklad brzdy s mechanickým převodem ⁸	15
Obr. 2 – Mechanismus jednookruhového mechanismu s kapalinovým převodem ⁸	16
Obr. 3 – Rozvod síly z brzdového válce ³	17
Obr. 4 – Schéma zapojení brzdových okruhů ⁵	18
Obr. 5 – Šroubová přípojka.....	19
Obr. 6 – Schéma soustavy s posilovačem ⁵	19
Obr. 7 – Posilovač brzdné síly ⁷	21
Obr. 8 - Pevný třmen Plovoucí třmen ⁸	22
Obr. 9 – Schéma bubnové brzdy ⁷	23
Obr. 10 – Schéma způsobu konstrukčního provedení Simplex ⁵	23
Obr. 11 – Schéma způsobu konstrukčního řešení Duplex a Duo-Duplex ⁵	24
Obr. 12 – Graf AMS zkoušky ⁴	25
Obr. 13 – Testovací vozidlo Peugeot 106	27
Obr. 14 – Vzorek testované zimní pneumatiky	30
Obr. 15 – Glass Transition Temperature různých směsí pneumatik ⁹	31
Obr. 16 – Testovací dráha.....	35
Obr. 17 – Měřicí přístroj PerformanceBox ¹⁰	36
Obr. 18 – Ukázka výstupu dat z měřicího přístroje	37
Obr. 19 – Graf měřicího přístroje Racelogic	38
Obr. 20 – Výstup dat z přístroje.....	40
Obr. 21 – Graf brzdné dráhy	42
Obr. 22 – Graf teplot brzd při jednotlivých měřeních	48
Obr. 23 – Graf závislosti brzdné dráhy na teplotě brzd	48

Seznam tabulek

Tab. 1 – Podmínky EHK pro zkoušku typu 0	32
Tab. 2 – Statistické veličiny.....	34
Tab. 3 – Brzdná dráha.....	41
Tab. 4 – Statistické vyhodnocení brzdné dráhy	42
Tab. 5 – Data pro výpočet brzdného zpomalení z přístroje RaceLogic.....	43
Tab. 6 – Pomocné vzorce pro výpočet brzdného zpomalení	44
Tab. 7 – Vypočítané brzdné zpomalení pro všechna měření	45
Tab. 8 – Statistické vyhodnocení brzdného zpomalení	46
Tab. 9 – Změřené teploty brzd.....	47

Seznam použitých zkratek

ADAC – Allgemeiner deutscher Automobilclub, Všeobecný německý autoklub

AMS – mezinárodně uznávaná zkouška, vytvořena časopisem Auto Motor und Sport

ATE – Firma specializující se na výrobu brzdových součástí

EHK – Evropská Hospodářská Komise

GPS – Globální poziční systém

LCD – Liquid Crystal Display

LPG – Liquefied Petroleum Gas (Zkapalněný topný plyn)

OHC – Over Head Camshaft (Druh ventilových rozvodů ve spalovacích motorech)

SD – Secure Digital (paměťová karta)

TÜV – (Technischer Überwachungs-Verein, česky Technické kontrolní sdružení)

1. Úvod

Brzdová soustava je nejdůležitější částí vozidla z hlediska aktivní bezpečnosti. Zajišťuje jednak jeho zpomalení a také zajišťuje vozidlo proti samovolnému pohybu. Brzdové soustavy v drtivé většině pracují na principu zvětšování odporu tření. Při brzdění vozidla se snižuje pohybová energie, která se mění na teplo.⁷ Jak moc efektivně musí taková soustava pracovat určuje předpis EHK 13-H. Tento předpis na základě několika pravidel udává, jaké maximální brzdné dráhy, s jakým minimálním brzdným zpomalením musí vozidlo dosáhnout, aby bylo bezpečné s takovým vozidlem vyjet na veřejnou komunikaci.

V mé bakalářské práci se budu snažit ověřit, zda i při nedodržení některých částí tohoto předpisu splním jeho specifické požadavky. Konkrétně se bude jednat o jinou směs pneumatik, než s jakou je v předpisu počítáno. Závisle na tomto experimentu budu pozorovat, jaký vliv bude mít teplota brzd na brzdnou dráhu vozidla.

2. Teoretický rozbor problému

Abych plně porozuměl problému, je třeba si nejprve říct něco k brzdám a brzdovým soustavám teoreticky.

2.1. Brzdy a Brzdové soustavy

Brzdění vozidla dosahujeme za pomoci tření mezi rotujícími a pevnými stojícími částmi brzd. Téměř všechna vložená energie do tohoto procesu se mění na energii tepelnou.

Brzdová zařízení na vozidle dělíme podle funkce na soustavu pro:

- provozní brzdění
- parkovací brzdění
- nouzové brzdění
- odlehčovací brzdění

Provozní brzdění ovládá rychlost pohybu vozidla a jeho zastavení bezpečným, účinným a rychlým způsobem. Účinek musí být odstupňován a toto brzdění musí být řidič schopen ovládat z místa sezení, bez sundání rukou z volantu. Brzdová soustava musí působit na všechna kola.

Parkovací brzdění je takové brzdění, kde stojíme s autem například na parkovišti a musíme zabránit samočinnému pohybu automobilu.

Nouzové brzdění musí umožnit zastavení vozidla v případě selhání provozního brzdění. Účinek musí být odstupňován a je nutno jej provést z místa sezení řidiče tak, aby řidič nemusel sundat ruce z volantu.

Odlehčovací brzdění se využívá převážně u těžkých nákladních vozidel při sjezdu svahu. Většinou se jedná o zařazený nižší rychlostní stupeň.

Brzdové zařízení obsahuje ústrojí pro dodávku energie, ovládací ústrojí, převod, vlastní brzdu a je-li třeba, přidavné ústrojí na motorovém vozidle pro přípojně vozidlo

Ústrojí pro dodávku energie dodává, reguluje a je-li třeba, upravuje energii požadovanou pro brzdění. Končí tam, kde začíná převod brzdy, tj. kde různé okruhy brzdových soustav včetně případných okruhů vedlejších spotřebičů jsou zajištěny směrem k ústrojí pro dodávku energie nebo navzájem. To platí i pro přípojná vozidla. Zdrojem energie může být i svalová síla řidiče.³

Ovládací ústrojí zahrnuje ty části brzdové soustavy, které uvádějí do činnosti a ovládají její účinek. Ovládací impuls může být převáděn uvnitř ovládacího ústrojí, například mechanickými, kapalinovými, vzduchovými nebo elektrickými prostředky, včetně použití pomocné nebo jiné než svalové energie.³

Ovládací ústrojí začíná tam kde působí přímo řidič nebo tam, kde se ovládací impuls přivádí do brzdové soustavy, je-li ovládána řidičem nepřímo nebo bez jeho zásahu.

Ovládací ústrojí končí buď tam, kde se rozvádí energie potřebná pro vytvoření přitlačné síly, nebo tam, kde se předává část této energie pro ovládání této přitlačné síly.

Ovládací ústrojí může být uváděno do činnosti:

- přímo, to je nohou nebo rukou
- nepřímo řidičem, nebo bez jakéhokoli zásahu, například u přípojných vozidel
- setrvačností nebo hmotností vozidla nebo jiné z jeho základních částí

Převod brzdy přenáší energii předávanou ovládacím ústrojím a končí v těch částech brzdové soustavy, ve kterých se vytváří síly působící proti pohybu vozidla. Může být mechanický, kapalinový, vzduchový, přetlakový nebo podtlakový, elektrický nebo kombinovaný.

Brzda či kolová brzda, je ta část brzdové soustavy, ve které vznikají síly působící proti pohybu vozidla nebo proti tendenci k jeho pohybu.

Z hlediska ústrojí pro dodávku energie dále dělíme brzdové soustavy na:

Přímočinné, kde se energie potřebná k vytvoření brzdné síly dodává pouze svalovou silou řidiče, **přímočinné s posilovačem**, u které se energie potřebná k vytvoření brzdné síly dodává svalovou silou řidiče a jedním nebo několika ústrojími pro dodávku energie, **strojní**, u které se energie potřebná k vytvoření brzdné síly dodává jedním nebo několika ústrojími pro dodávku energie, s vyloučením svalové síly řidiče.

Soustavy přímočinné jsou používány u vozidel kategorie L, a byly donedávna používány u kategorie M1, popřípadě N1. Soustavy přímočinné s posilovačem jsou dnes běžně používány u kategorie M1 a M2, resp. N1 a N2.³

Strojní soustavy jsou používány u M2 a M3, resp. N2 a N3, kde spodní hranicí použití je zhruba celková hmotnost 7 t, a to v případě že se jedná o nejlehčí vozidlo z vyráběné řady. U lehčích vozidel se tato soustava nepoužívá, protože veškeré přístroje a zejména brzdové válce spolu s jejich převodem jsou při běžně používaném jmenovitém tlaku 800 kPa tak rozměrné, že jejich umístění na vozidle je problematické, ne-li zcela nemožné.³

2.1.1. Přímočinné brzdové soustavy

Velikost brzdné síly u přímočinných brzdových soustav je přímo úměrná ovládací síle, kterou řidič působí na ovládací člen brzdové soustavy, nejčastěji brzdový pedál.

Tyto soustavy můžeme dále rozdělit na:

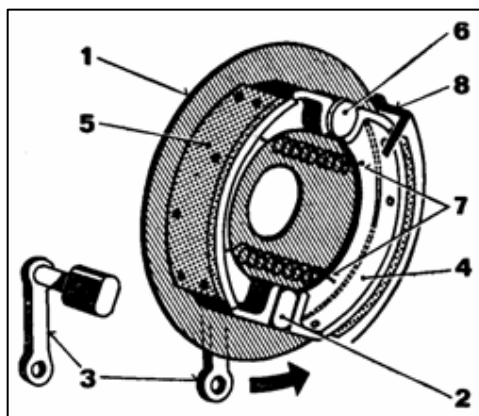
2.1.2. Soustavy s mechanickým převodem

Tyto soustavy používané pro provozní brzdění patří již k historii a najdeme je nejčastěji u motocyklů a mopedů.

Mechanický převod je však používán pro ovládání parkovacích brzd, a to buď pomocí lanek s bowdenem (ohebný lanovod, který je uchycen k reakčnímu členu) u parkovacích brzd sloučených v jeden celek s provozní brzdou na kolech zadní nápravy, nebo pomocí táhel a pák, kdy parkovací brzda působí na převodové ústrojí. Konstrukčně je řešena jako pásová, kde buben je umístěn za přídatnou převodovkou na výstupní hřídeli první zadní nápravy. Buben je opásán ocelovým pásem s litinovým segmentovým obložením. Svírávání bubnu ovládá vačkový mechanismus.³

Nevýhodou těchto soustav s mechanickým převodem je, že vlivem nestejnoměrného opotřebení obložení a pohyblivých spojů mechanismu, dochází i k rozdílným vůlím a tím i nestejným brzdícím silám na jednotlivých kolech.

Princip funkce si vysvětlíme na obrázku (obr. 1). Řidič sešlápne pedál a tím zatáhne lankem lanovodu za páku klíče brzdy (3). Klíč brzdy rozevře čelisti (4), které se svým obložením (5) přiblíží k brzdovému bubnu (8), začnou se o něj třít, a buben se začne zpomalovat.⁸



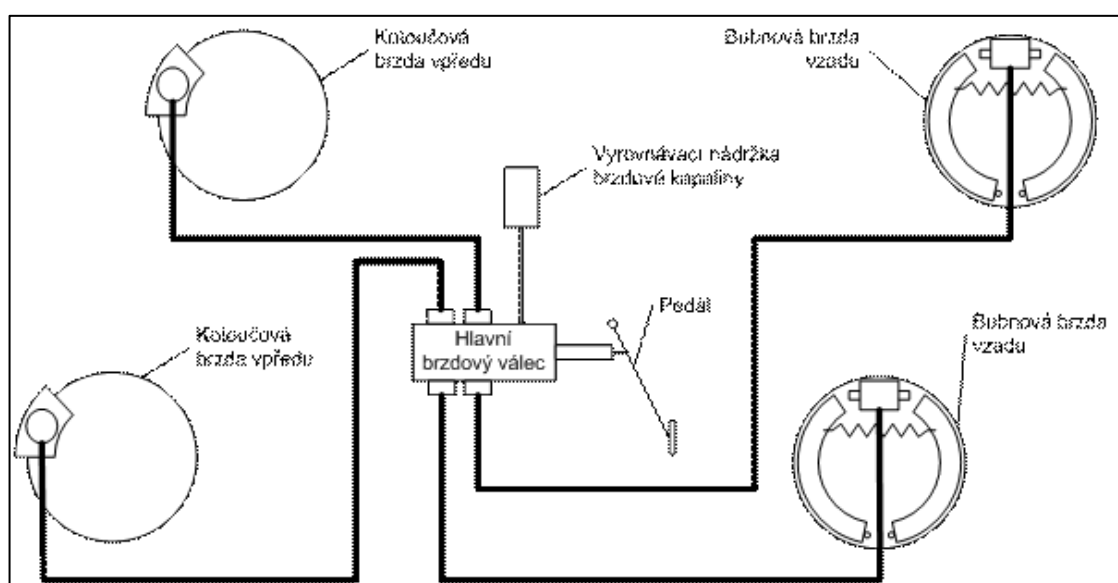
Obr. 1 – Příklad brzdy s mechanickým převodem⁸

2.1.3. Soustavy s kapalinovým převodem

Brzdy s kapalinovým převodem se začínají objevovat ve stavbě automobilů již koncem 20. let. U nás byla takto řešená brzdová soustava použita v osobních automobilech Škoda 1000/1100 MB.

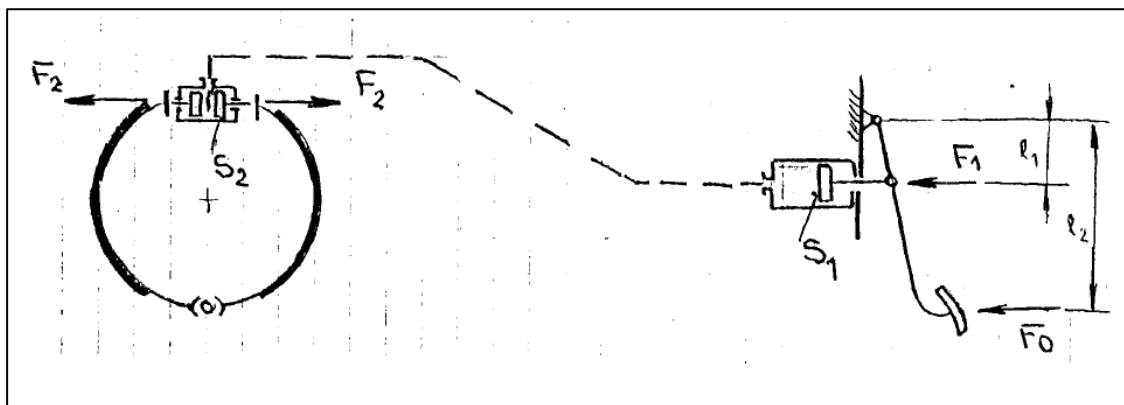
Nevýhodou jednoduchého (jednookruhového rozvodu) rozvodu kapaliny od hlavního brzdového válce ke kolům je nebezpečí selhání v případě netěsnosti. Porucha v kterémkoli místě této jednookruhové soustavy ji okamžitě vyřadí celou z provozu.

Na následujícím obrázku (obr. 2) je schéma tzv. jednookruhové brzdové soustavy pro provozní brzdění s kapalinovým převodem.



Obr. 2 – Mechanismus jednookruhového mechanismu s kapalinovým převodem⁸

Tlak vyvozený v hlavním brzdovém válci se rovnoměrně rozvádí k jednotlivým brzdovým válečkům díky Pascalovu zákonu. Vhodnou volbou průměru hlavního brzdového válce a brzdových válečků v kolech lze dosáhnout nejen převodu brzdy ale i rozdělení sil v libovolném poměru.

Obr. 3 – Rozvod síly z brzdového válce³

Kapalinový převod brzdy určuje vztah mezi silou F_1 působící na píst hlavního brzdového válce o ploše S_1 a silou F_2 působící na písty kolových válečků o plochách S_2 .

$$P = \frac{F}{S} = \text{konst.}$$

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \rightarrow F_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

Kde:

P – tlak [Pa]

F – síla [N]

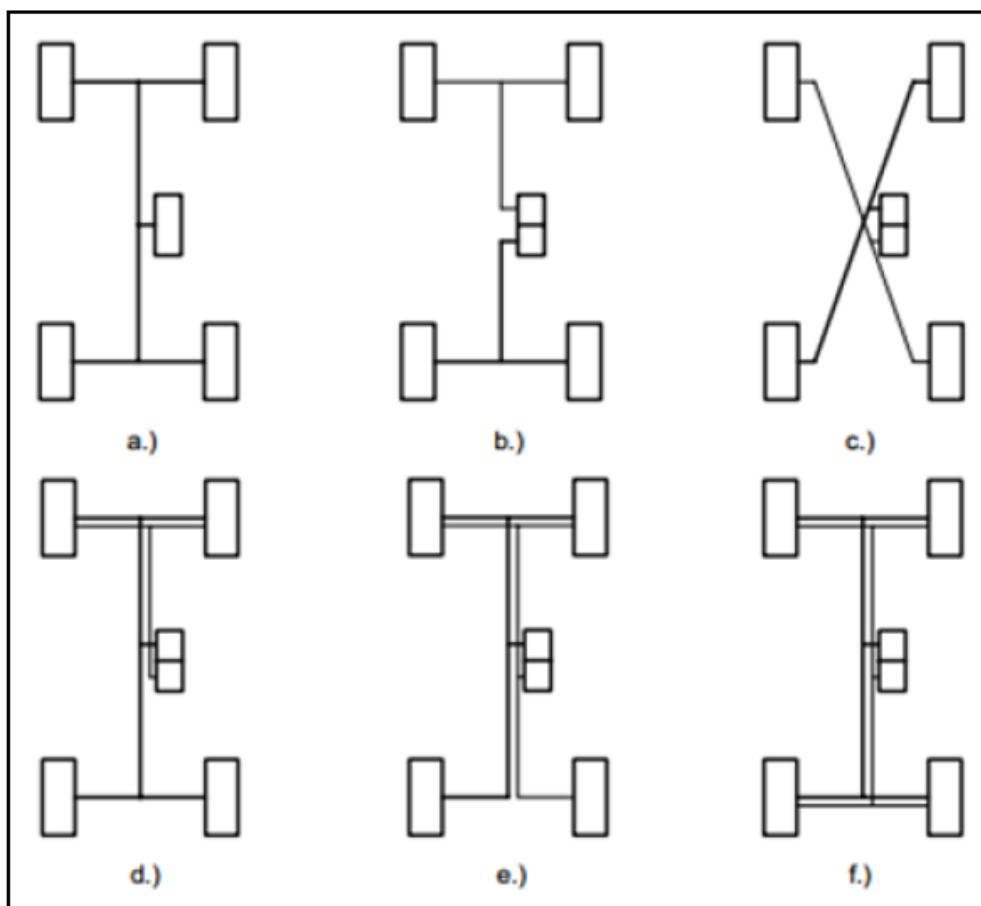
S – plocha [m²]

Čím bude tedy průměr a tím i plocha pístu hlavního brzdového válce menší nebo čím větší bude průměr kolového brzdového válečku, tím bude kapalinový převod větší a pro dosažení požadované síly na kolových válečcích je třeba menší ovládací síly na pedál.

Kapalinové brzdové soustavy se plní brzdovou kapalinou. Brzdová kapalina je směsí éterů, glykolů s polyglykoly, obarvená resinolovou žlutí, s přídavkem speciálních inhibitorů. Použití pro jednotlivé druhy a typy vozidel stanoví jejich výrobce, který předepisuje i délku výměnného intervalu, zejména vzhledem k tomu, že kapalina pohlcuje z ovzduší vodu, čímž se snižuje její bod varu a horní hranice provozní teploty. Při vysokých provozních teplotách, které se přenášejí do kapaliny při dlouhodobém intenzivním brzdění, pak může dojít k tvorbě parních bublin, které jsou na rozdíl od kapaliny stlačitelné. Na jejich stlačení se pak může vyčerpat pracovní zdvih pedálu brzdy, aniž by došlo k vyvolání brzdného účinku na kolech.³

Za normálních okolností jsou brzděna všechna kola vozidla. Při případné poruše na jakémkoli okruhu je brzděno vozidlo neporušeným okruhem, tedy jen určitým počtem kol. Podle zákona musí mít vozidla nejméně dvouokruhovou soustavu, která splňuje požadavek nouzového brzdění. Na následujícím obrázku (obr. 4) vidíme různé způsoby zapojení těchto soustav:

- a) Jednookruhová
- b) Standartní zapojení TT – brzděna každá z náprav
- c) Diagonální zapojení X – kola brzděná v úhlopříčce
- d) Zapojení HT – jeden okruh ovládá všechna kola, druhý jen přední nápravu
- e) Zapojení LL – každý okruh ovládá jedno zadní kolo a celou přední nápravu
- f) Zapojení HH – každý okruh ovládá všechna kola



Obr. 4 – Schéma zapojení brzdových okruhů⁵

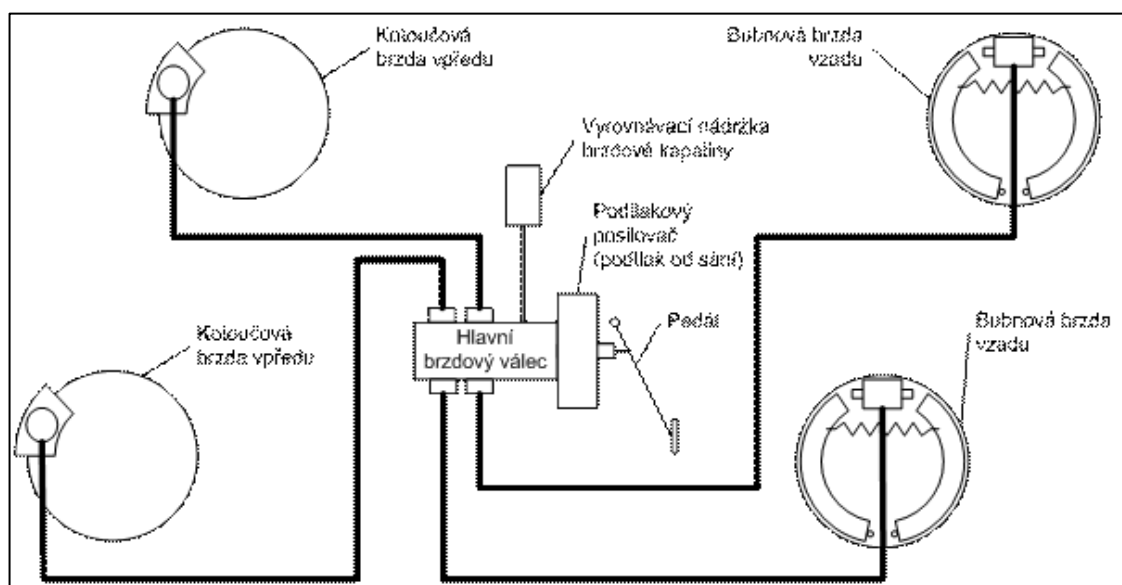
Rozvod kapaliny je proveden ocelovými trubičkami s protikorozní úpravou (pozinkování) a k pohyblivým částem (kolům) je připojení provedeno pomocí vysokotlakých pryžových hadic. Na trubičky se navlečou šroubové přípojky (obr. 5) a na koncích se potom vytvoří kuželovité lemy. Šroubovými přípojkami se pak trubičky připojují k ostatním armaturám a kolovým válečkům. Armatury tvoří dále přívodní šrouby, přípojky, rozvodky, odvzdušňovací šrouby a jejich pryžové čepičky, třmenové držáky brzdových hadic a podobně.³



Obr. 5 – Šroubová přípojka

2.1.4. Přímočinné soustavy s posilovačem

U dnešních osobních automobilů se používá výhradně dvouokruhových brzdových soustav s kapalinovým převodem, které jsou již převážně vybaveny posilovačem.



Obr. 6 – Schéma soustavy s posilovačem⁵

Hlavní brzdový válec – u dvouokruhových brzdových soustav s kapalinovým převodem může být hlavní brzdový válec uspořádán jako tandemový nebo paralelní.

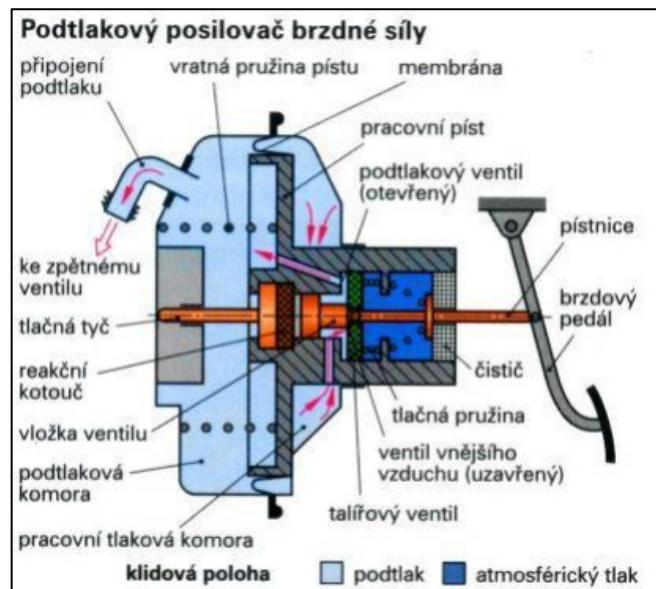
Vyrovnávací nádržka brzdové kapaliny může být umístěna přímo na hlavním brzdovém válci (kde se však obtížně kontroluje hladina kapaliny a špatně se doplňuje) nebo odděleně.

Posilovač (obr. 7) – u brzd s posilovačem působí svalová síla řidiče také přes brzdový pedál přímo na brzdové ústrojí, avšak současně je z jiného zdroje energie zvětšována, to znamená že k vyvolání požadovaného účinku je třeba menší ovládací síla. Při jakékoli poruše soustavy s posilovačem nejsou porušeny funkce brzdové soustavy, je však třeba vyvinout mnohem větší ovládací sílu.

U osobních automobilů se převážně používá posilovač **podtlakový**, který pro svou funkci využívá nejčastěji rozdíl mezi atmosférickým tlakem a podtlakem v sacím potrubí motoru.

Posilovač tvoří komora a ovládací ventil. Komora posilovače je rozdělena pryžovou membránou na dva prostory, podtlakový a pracovní. V klidové poloze brzdového pedálu je v obou prostorech komory podtlak.

Při tlaku na brzdový pedál tlačná tyč pedálu zatlačuje ovládací ventil posilovače do jeho sedla a tím přeruší spojení obou prostorů. Při dalším pohybu se propojí pracovní prostor posilovače přes filtrační vložku s atmosférickým tlakem. Rozdílem tlaků v podtlakové a pracovní komoře pak vyvolá posilový účinek ve směru pohybu tlačné tyče hlavního brzdového válce. Při uvolnění brzdového pedálu vrátí pružina pracovní píst do výchozí polohy a okamžitě dojde k vyrovnání podtlaků v obou prostorech komory.

Obr. 7 – Posilovač brzdné síly⁷

2.2. Kolové brzdy

Při brzdění je kinetická energie vozidla mařena třením mezi pevnými a rotujícími částmi kolových brzd. Tato energie je přeměněna na teplo. Z hlediska přenosu třecí síly dělíme kolové brzdy na kotoučové a bubnové.

Nejběžnější uspořádání u osobních automobilů je s kotoučovými brzdami v předních a bubnovými brzdami v zadních kolech. U předních brzd pak bývají použity kotouče s vnitřním chlazením. Kolové brzdy musí splňovat tři základní požadavky:

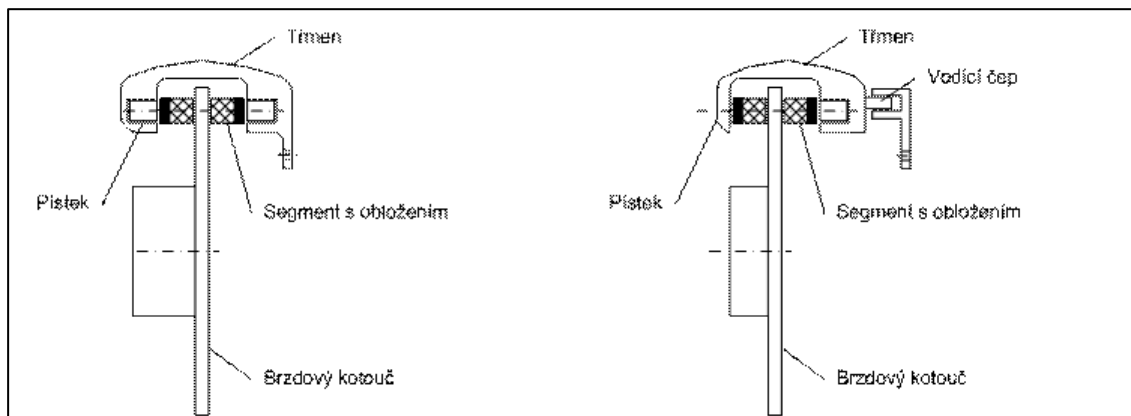
- 1) schopnost absorbovat teplo vznikající při brzdění
- 2) umožnit přívod chladícího vzduchu a odvádět vzniklé teplo
- 3) i při velkých teplotních změnách musí být zachovány třecí vlastnosti

2.2.1. Kotoučová brzda

U brzd s kapalinovým převodem je třecí síla mezi obložením a kotoučem vyvozována tlakem brzdové kapaliny na písty brzdových válečků umístěných ve třmenu brzdy.

U kotoučových brzd rozlišujeme podle uspořádání třmenu dvě základní provedení:

- s pevným třmenem
- s plovoucím třmenem



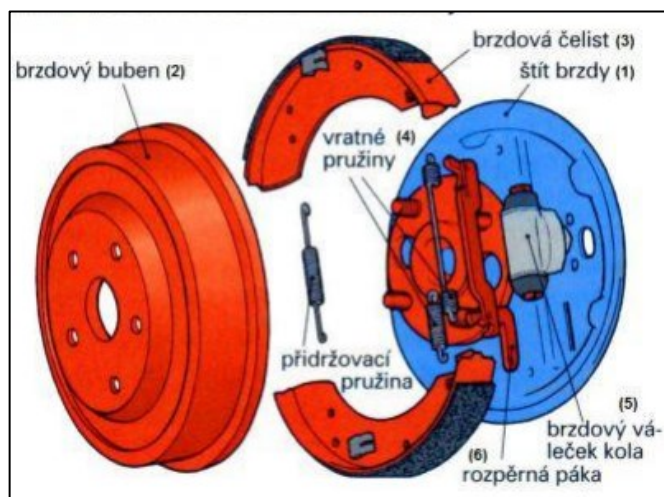
Obr. 8 - Pevný třmen

Plovoucí třmen⁸

Výhoda provedení s plovoucím třmenem je, že tím že je vypuštěn jeden z pístků, zmenší se šířka třmenu a tím i nutný zális kotouče.

2.2.2. Bubnová brzda

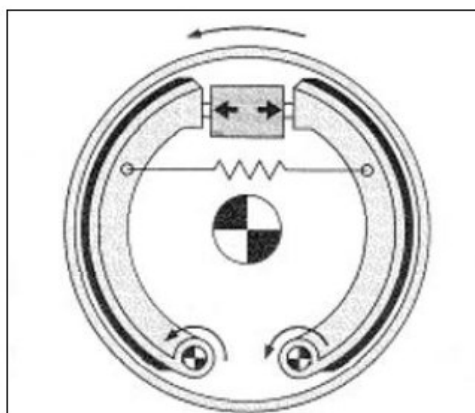
Rotující částí brzdy je buben, jehož vnitřní válcový povrch tvoří třecí plochu. Při brzdění se na tuto plochu radiálně přitlačují brzdové čelisti s obložením. Radiální přitlak čelistí na třecí plochu zabezpečuje ovládací člen, který působí na jednom konci každé čelisti. Brzdové čelisti s obložením spolu s ovládacím členem jsou spojeny s pevnou částí brzdy, takzvaným štítem brzdy.



Obr. 9 – Schéma bubnové brzdý⁷

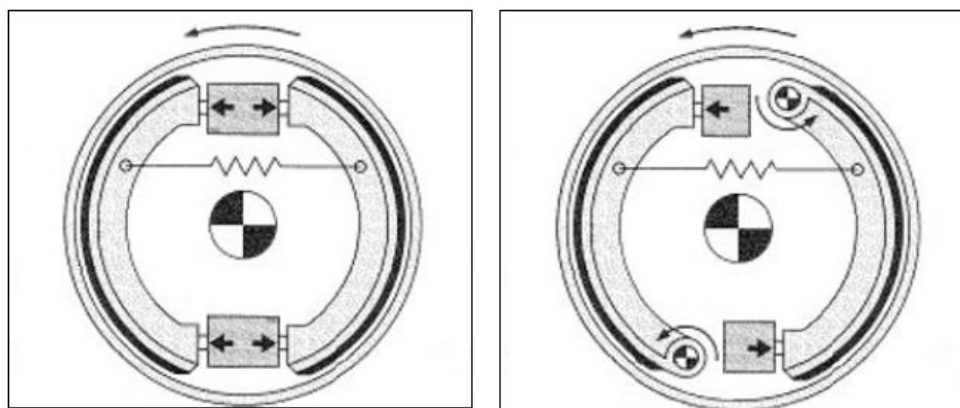
Bubnové brzdy dělíme také dle toho, zda čelisti spojuje pouze jediný váleček (konstrukční řešení Simplex) nebo dva válečky – pro každou stranu samostatný (konstrukční řešení Duplex a duo-Duplex).

Simplex (obr. 10) je jednodušší a levnější. Má však nevýhodu, a to tu, že jedna z čelistí funguje jako úběžná – je vlivem rotačního pohybu bubnu odtlačována, a tím se brzdný účinek snižuje. Druhá čelist je přitlačována, takže napomáhá brzdění.



Obr. 10 – Schéma způsobu konstrukčního provedení Simplex⁵

K odstranění nežádoucího úběžného jevu byl vyvinut systém Duplex a Duo-Duplex (obr. 11), kde jsou obě čelisti přitlačovány na obou stranách – tím vznikly dvě náběžné části.



Obr. 11 – Schéma způsobu konstrukčního řešení Duplex a Duo-Duplex⁵

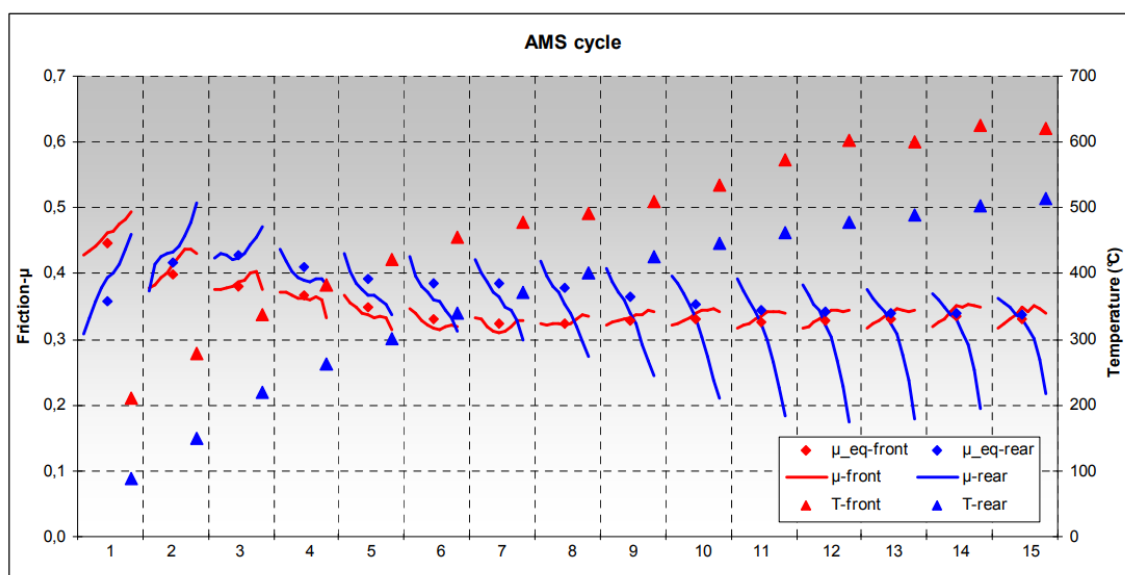
2.3. Vliv teploty brzd na brzdnu dráhu vozidla

2.3.1. Zkouška AMS

Zkouška brzdění AMS je mezinárodně uznávanou zkouškou, která určuje brzdnu dráhu. Vytvořil ji časopis „Auto Motor und Sport“ (přední německý časopis o automobilech). Odkazují na ni dokonce i německý automobilový klub ADAC a německé zkušební úřady TÜV.

Jedná se o intenzivní cyklus zrychlování a brzdění, ve kterém se brzdové kotouče mohou zahřát až na teplotu 700 °C. V těchto podmínkách je také možné simulovat obávaný pocit ztráty brzdného účinku. Ztráta brzdného účinku je pojem, kterým se popisuje omezený účinek brzdění, ke kterému dochází, když je vozidlo plně naložené. Výsledné vysoké teploty v této zkoušce uvolňují pojiva z brzdové destičky, která mezi destičkou a kotoučem vytvářejí vrstvu maziva, čímž se snižuje koeficient tření a brzdný účinek.

Na následujícím obrázku je zobrazena tato zkouška. Červenou barvou jsou značeny přední brzdy vozidla, modrou zadní brzdy vozidla. Trojúhelníky je pak znázorněna teplota, a krátkými křivkami a kosočtverci koeficient tření. Lze tedy vypořadovat, že při teplotách do 300 °C se koeficient tření při brzdění zvyšuje, mezi 300 a 500 °C během brzdění klesá, a nad 500 °C můžeme opět pozorovat zvyšování koeficientu při brzdění.



Obr. 12 – Graf AMS zkoušky⁴

3. Návrh posuzovaných parametrů

3.1. Předmět posuzování

Mým cílem v mé bakalářské práci bude ověřit, zda i při použití nevhodné směsi pneumatik docílím dostatečné brzdné dráhy dle předpisu EHK 13-H. Předpis má velice specifické požadavky uvedeny v odstavcích níže. Já však záměrně některé z nich poruším. Konkrétně se bude jednat o směs, použitou v nevhodném ročním období (zimní směs pneumatik v letním ročním období).

Dále budu závisle na tomto pokusu testovat, jak ovlivní teplota brzd délku brzdné dráhy a celkové chování vozidla.

3.2. Hypotéza výsledku

Předpokládám, že s vozidlem, které jsem si pro testování vybral předpis splním. K tomuto předpokladu jsem došel hlavně protože si myslím, že vůz je ve velmi dobrém technickém stavu, je lehký a velmi dobře řiditelný a obratný.

Dále si myslím, že čím teplejší brzdy budou, tím se bude brzdná dráha zkracovat. Myslím si to hlavně proto, že brzdy nejlépe fungují při určité pracovní teplotě. Jakmile jí dosáhnou, auto bude brzdit lépe. Samozřejmě platí, že pokud se brzdy přehřejí, ztrácejí na efektivitě. Myslím si ale, že k takovému případu v mém případě nedojde, protože vůz je velice lehký, tudíž na brzdy není kladen takový nápor.

3.3. Testovací vozidlo

Jako vozidlo, se kterým budu pokusy a důkazy do mé bakalářské práce zkoušet, jsem vybral vozidlo značky Peugeot typu 106 ročník 1996 v provedení Sketch. Tento vůz jsem vybral z několika následujících důvodů. Vlastníkem vozidla je můj otec, tudíž jeho zapůjčení mě nic nestojí, a zkoušet s ním mohu kdykoli k tomu jsou vhodné podmínky. Vůz taktéž řídím téměř každý den, proto znám jeho specifické vlastnosti a vím, jak se k vozu chovat tak, aby odchylka měření byla co nejmenší a měření tím pádem relevantní a přesné.

Vůz byl do naší rodiny pořízen v roce 2013, má najeto 110236 kilometrů, platnou technickou prohlídku a jeho celkový stav je vynikající. I tyto vlastnosti pomohou k tomu, že mnou naměřené hodnoty by měly být ovlivněny pouze chováním řidiče, který bude testy provádět. V tomto kroku se omezím taktéž pouze na použití jednoho testovacího jezdce, aby výsledky byly co nejpřesnější.



Obr. 13 – Testovací vozidlo Peugeot 106

3.3.1. Technické specifikace vozidla

Typ karoserie:	Ventilů na válec	Převodovka –
hatchback	2	převodový poměr:
Počet dveří:	Objem:	1 rychlostní stupeň:
5	954 cm ³	3,42:1
Typ převodovky	Vrtání x zdvih:	2 rychlostní stupeň:
Manuální	70,0 x 62,0 mm	1,95:1
Počet míst k sezení:	Kompresní poměr:	3 rychlostní stupeň:
5	9,4 :1	1,36:1
Pohon:	Maximální výkon při:	4 rychlostní stupeň:
Hnaná náprava:	6000 min ⁻¹	1,05:1
přední	Maximální točivý	5 rychlostní stupeň:
Palivo	moment při:	0,85:1
LPG	3700 min ⁻¹	Konečný převod:
Maximální výkon:	Dodávka paliva:	3,94:1
37 kW (50 HP)	Jednobodové vstřikování	Váhy:
Maximální točivý	Typ motoru:	Nenaložený:
moment	OHC	790 kg
74 Nm	Maximální rychlost:	Maximální nosnost:
Motor:	120 km/h	445 kg
Válce	Akcelerace 0-100 km/h:	Maximální povolená
4, řadový	19,2 s	hmotnost:
	Průměrná spotřeba:	1235 kg
	6,2 l/100 km	

3.3.2. Bližší specifikace brzdového systému vozidla

Brzdový systém je hydraulický, dvouokruhový, s posilovačem se zdvojeným hlavním brzdovým válcem. Uspořádání systému je diagonální, to znamená, že jeden okruh zahrnuje přední levé a zadní pravé kolo a druhý okruh přední pravé a zadní levé kolo. Při výpadku jednoho okruhu je zajištěno, že brzdí vždy alespoň jedno kolo na každé straně vozidla. Model má namontované přední kotoučové a zadní bubnové brzdy. Přední brzdy jsou vybaveny takzvanými plovoucími brzdovými třmeny s jedním pístkem. Zadní bubnové brzdy mají brzdové válečky s integrovanými zátěžovými regulátory. Tyto regulátory omezují u naloženého vozidla tlak v zadních brzdách a zabráňují tak blokování zadních kol při prudkém brzdění. Bubnové zadní brzdy jsou vybaveny automatickým doseřizovacím mechanismem, který kompenzuje opotřebení brzdových čelistí, takže není nutné podle opotřebení čelistí seřizovat brzdový pedál. Ruční brzda je samostatným mechanickým nástrojem zadních brzd.

3.3.3. Přední brzdy

- Typ: kotoučové s plovoucím brzdovým třmenem s jedním pístkem
- Typ třmenu kotoučové brzdy: ATE/Teves FR 12
- Průměr brzdového kotouče: 238,0 mm
- Tloušťka brzdového kotouče: 8,0 mm
- Minimální tloušťka: 6,0 mm
- Maximální házivost brzdového kotouče: 0,07 mm
- Minimální tloušťka třecího materiálu brzdové destičky: 2,0 mm

3.3.4. Zadní brzdy

- Typ: bubnová brzda s úběžnými brzdovými čelistmi
- Průměr brzdového bubnu: 165,0 mm
- Maximální průměr po opracování: 167,0 mm
- Minimální tloušťka obložení brzdové čelisti: 1,0 mm

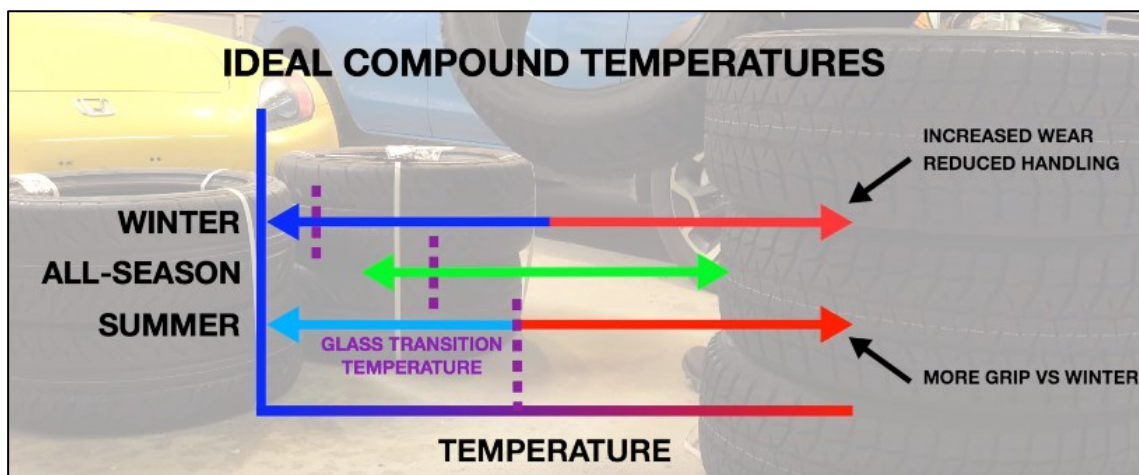
3.3.5. Pneumatiky vozidla

Pneumatiky vozu budou jeden z hlavních faktorů, které mohou ovlivnit výsledky testování. Na voze jsou čtyři stejné pneumatiky zimní směsi, označení SAVA ESKIMO, a rozměrech 155/70 R13. Pneumatiky jsou nafouknuty na předepsaný tlak 2,3 barů. Hloubka dezénu v době testování je 5 milimetrů.



Obr. 14 – Vzorek testované zimní pneumatiky

Důležitým faktorem, který je rozhodně třeba zmínit a se kterým se setkáváme u všech druhů pneumatik je tzv. „Glass Transition Temperature“ (dále jen T_g), což je teplota, při které se u polymerů mění jejich elastické vlastnosti. Při teplotě vyšší, než je T_g polymery měknou, a naopak při teplotě nižší tuhnou. Pro zimní směs pneumatik je tato hodnota rovna přibližně 8°C . Pokud tedy směs vystavíme teplotě výrazně vyšší, než je tato hodnota, bude se velmi rychle opotřebovávat a ztrácí své adhezní vlastnosti. Příklad takových teplot vidíme na následujícím obrázku (obr. 15).



Obr. 15 – Glass Transition Temperature různých směsí pneumatik⁹

3.4. EHK požadavek na brzdnu dráhu

Testy budu provádět dle požadavků předpisu EHK 13 H, přílohy 3, Zkoušky a účinky brzdění. Účinek, který je od brzdového systému vyžadován záleží na brzdě dráze a na středním zpomalení vozidla. Účinek se stanoví s ohledem na počáteční rychlost vozidla a naměřené brzdě dráhy. Brzdě dráha je dráha, kterou vozidlo urazí od počátku působení na brzdový pedál až do doby zastavení vozidla. Počáteční rychlost je rychlost, kterou se vozidlo pohybuje neprodleně před začátkem brzdění. Počáteční rychlost nesmí být nižší než 98 % rychlosti předepsané pro danou zkoušku.

Střední plně brzdě zpomalení (d_m) se vypočítá jako střední zpomalení, které je funkcí vzdálenosti ujeté v intervalu v_b až v_e , podle následujícího vzorce:

$$d_m = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92 \cdot (s_e - s_b)} \quad [\text{m/s}^2]$$

kde:

v_o = počáteční rychlost vozidla [km/h]

v_b = rychlost vozidla při 0,8 v_o [km/h]

v_e = rychlost vozidla při 0,1 v_o [km/h]

s_b = dráha, kterou vozidlo ujede mezi v_o a v_b , [m]

s_e = dráha, kterou vozidlo ujede mezi v_o a v_e [km/h]

3.4.1. Podmínky zkoušky

Zkouška se musí provádět za následujících všeobecných podmínek:

- Vozidlo musí odpovídat podmínkám pro hmotnost, uvedeným pro každý typ zkoušky
- Zkoušet se musí z rychlosti, která je stanovena pro typ zkoušky
- Vozovka musí mít dobré adhezní vlastnosti
- Zkouška nesmí být ovlivněna větrem
- Na začátku zkoušky musí být pneumatiky studené a nahuštěné na správný tlak
- Účinku se musí dosáhnout bez zablokování kol do rychlosti 15 km/h, bez vybočení mimo pruh široký 3,5 metru, bez úhlu stáčení většího než 15° a bez velkých vibrací
- Průměrná teplota brzd na nápravě vozidla, kde jsou brzdy ohřáty nejvíce, musí být před každým brzděním mezi 65 °C a 100 °C
- Vozidlo musí být naloženo tak, aby rozložení hmotnosti na nápravy odpovídalo tomu, co předepisuje výrobce
- Zkušební dráha musí být vodorovná s čistým povrchem

Provádět budu zkoušku typu 0 (základní zkouška účinku brzd za studena), s odpojeným motorem. Zkoušku se zapojeným motorem provádět nemohu, nýbrž mé testovací vozidlo není schopno dosáhnout potřebné rychlosti pro tuto zkoušku.

3.4.2. Účinky brzdových systémů

Systém provozního brzdění se zkouší za podmínek uvedených v následující tabulce (tab. 1):

Tab. 1 – Podmínky EHK pro zkoušku typu 0

Zkouška typu 0 s odpojeným motorem	v	60 km/h
Provozní brzdění	$s \leq$	$0,1v + 0,0060v^2$
	$d_m \geq$	$6,43m/s^2$

kde:

v = počáteční rychlost zkoušky [km/h]

s = brzdná dráha [m]

d_m = střední plné brzdné zpomalení [m/s^2]

v_{max} = maximální rychlost vozidla [km/h]

3.5. Metodika zkoušky

Zkoušku budu provádět při rychlosti 60 km/h a bude probíhat následujícím způsobem. Dle podmínek zkoušky musí být první pokus započat se studenými brzdami. Test musí probíhat na vodorovné silnici, pokud možno za co nejmenšího vlivu větru a jiných vlivů, jako jsou snížené adhezní podmínky (mokrý povrch vozovky, zaprášený povrch, povrch tvořen šotolinou a podobně). Tyto podmínky musí být splněny při každém měření. Budu provádět celkem 26 měření, při kterých se budu snažit vždy dodržet stejnou počáteční rychlost brzdění, snažit se brzdit tak, aby se nezablokovala přední kola (což je porušení podmínek zkoušky), ale zároveň vždy působit na brzdový pedál stejnou silou. Mým hlavním cílem je ověřit, zda i při použití zimní směsi pneumatik splním požadavky předpisu EHK 13 H uvedeny výše (kap. EHK požadavek na brzdnou dráhu). Předpis poruším ještě v jednom směru, a to v tom, že se mezi měřeními budu snažit učinit co nejmenší časový rozdíl za účelem co největšího zahrátí brzd, což je další z mých hypotéz, kterou se budu snažit ověřit.

- 1) S automobilem se rozjedu na rychlost 60 km/h.
- 2) Začnu brzdit co nejvíce tak, aby se nezablokovala kola.
- 3) Při úplném zastavení urychleně vystoupím z vozidla a změřím teplotu předních brzd
 - a. Teplotu budu měřit na obou stranách skrze díry v discích laserovým teploměrem. Teplotu budu měřit co nejbližší brzdovému třmenu, po směru jízdy rotace brzdového disku. Naměřené hodnoty z obou stran zapíšu a poté z nich vypočítám průměrnou hodnotu.
- 4) Urychleně nastoupím do vozidla a provedu další měření (návrat na krok 1).

Tento postup budu opakovat dvacet-šestkrát. Toto množství pokusů proto, že na úseku, kde budu měření provádět, takto provedu celkem 3 cesty tam i zpátky. Za účelem dodržení stejných podmínek při všech měřeních provedu tolik měření, kolik půjde, a kolik uznám za vhodné k přesnému statistickému zpracování výsledků. Zapůjčený měřicí přístroj Racelogic bude celou dobu zaznamenávat hodnoty rychlosti, ujeté vzdálenosti a zrychlení. Z těchto hodnot poté vyfiltruji pouze úseky brzdění, se kterými budu dále počítat. Hlavními faktory pro mě budou rychlost a ujetá vzdálenost. Z každého brzdění vždy vypočítám brzdnou dráhu a brzdné zpomalení. Tím dostanu 26 výsledků brzdné dráhy a 26 výsledků brzdného zpomalení. Z těchto vypočítám střední hodnotu, rozptyl, střední odchylku a průměr společně s minimem a maximem. Výsledek porovnáím s předpisem EHK a učiním závěr, zda jsem jej splnil či nikoli. Při měření se mohou vyskytnout náhodné chyby. Jsou to takové chyby, které vznikají náhodnými cizorodými vlivy, jako jsou změny teplot, tlaku vzduchu nebo

nedokonalosti lidských smyslů (tj. reakční doba, schopnost vždy aplikovat na brzdový pedál stejnou sílu a podobně)

Analogický postup budu provádět při měření teploty brzd, avšak díky omezenému přístupu ke měření teploty brzd (na vozidle jsou nasazeny disky, díky kterým je obtížné teplotu měřit přímo na brzdových třmenech) a tomu, že měření budu provádět sám, tudíž než k brzdám doběhnu, jejich teplota výrazně poklesne, z těchto hodnot vyvodím pouze trend, jestli a jak teplota ovlivňuje brzdnu dráhu vozidla.

Zkouška probíhala za slunečného počasí, kdy teplota vzduchu dosahovala 25 °C a teplota vozovky 20 °C.

3.6. Statistická analýza

Statistika je věda, která zkoumá, zpracovává a vyhodnocuje data. V mé bakalářské práci využiji statistiku k analýze změřených a vypočítaných dat. Konkrétně mě budou zajímat následující veličiny statistiky (tab. 2):

Střední hodnota je parametr rozdělení náhodné veličiny, který je definován jako vážený průměr daného rozdělení.

Rozptyl nám udává, jak moc jsou hodnoty v našem statistickém souboru rozptýleny kolem střední hodnoty. **Směrodatná odchylka** je pak rovna druhé odmocnině z rozptylu.

Tab. 2 – Statistické veličiny

Veličina	Vzorec
Střední hodnota	Rozděluje vzestupně seřazený soubor dat na dvě stejné poloviny.
Rozptyl	$Var(X) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$
Směrodatná odchylka	$\sigma = \sqrt{Var(X)}$
Průměr	$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$
Minimum	=MIN(soubor_hodnot)
Maximum	=MAX(soubor_hodnot)

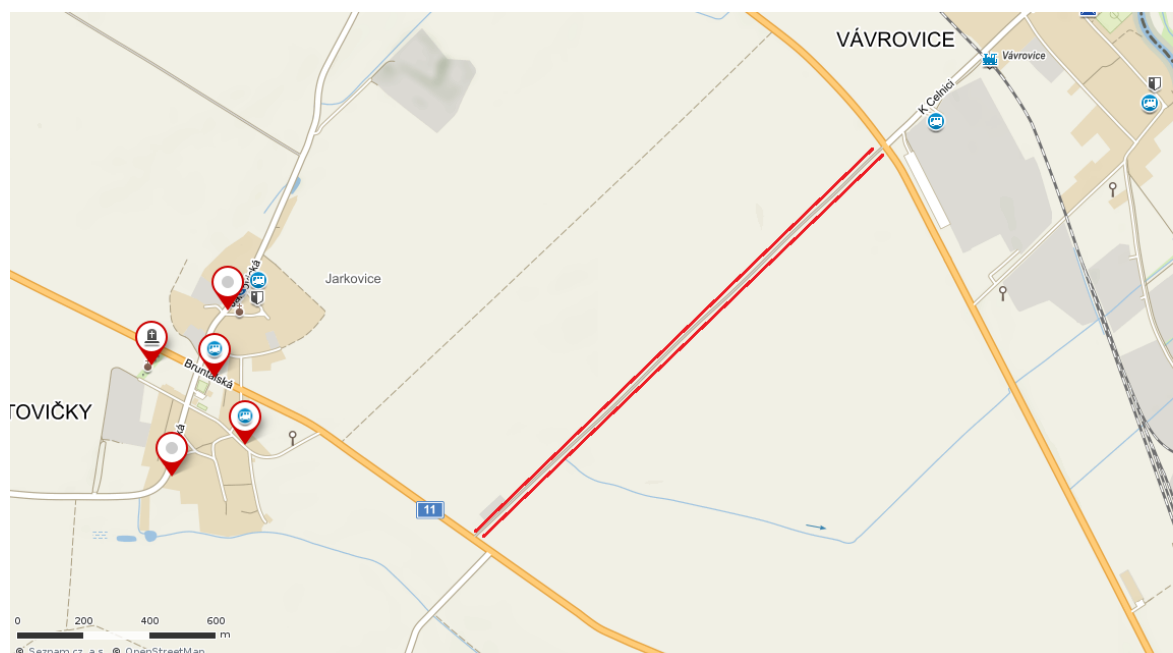
Kde:

n – počet provedených pokusů (26)

x – hodnota odpovídající konkrétnímu pokusu

3.7. Místo konání zkoušky

Zkoušku budu provádět na tomto úseku blízko mého domova. Cesta se nachází mezi obcemi Vlastovičky a Vávrovice. Provoz na tomto místě je téměř nulový, cesta je vodorovná a s povrchem s adhezními podmínkami vyhovujícími mému experimentu.



Obr. 16 – Testovací dráha

3.8. Popis měřicího přístroje



Obr. 17 – Měřicí přístroj PerformanceBox¹⁰

K mému měření využiji přístroje RaceLogic PerformanceBox, jinak také zvaného Racelogic VBOX, kterého využívá spousta výrobců automobilů k testování svých modelů. Přístroj je velmi multifunkční, dá se s ním měřit například doba zrychlení, délky brzdění, časy na čtvrt míle (sprinty) kde měřicí přístroj vyhodnotí specifické informace, jako zrychlení z 0 na 60, 100 km/h, 0-100-0 (zrychlení z 0 na 100 km/h, a zpomalení zpět na 0 km/h) a mnoho jiného. Já přístroj využiji pouze ke sběru dat pro výpočet brzdné dráhy. To je počáteční rychlost před začátkem brzdění, doba trvání brzdění, ujetá dráha...

K přesnosti měření přístroj využívá následující funkce:

- Bezkontaktní 10 Hz rychlostní a distanční měření pomocí GPS
- Vestavěnou GPS anténu
- Podsvícený LCD displej pro zobrazení dat a výsledků
- Boční a podélné měření dostředivé síly
- Software pro zaznamenávání dat
- Zvuková indikace při dosažení požadované rychlosti

Přístroj připojím do auta, za pomoci kterého pak provedu potřebné testy a zkoušky pro potvrzení mé analýzy. Přístroj data sesbírá a následně zapíše na mnou vloženou SD kartu. Ukázka, jak budou takto zapsaná data vypadat vidíme na následujícím obrázku (obr. 18).

Soubor s daty, která přístroj takto zapsal, a ze kterých jsem prováděl veškeré výpočty přikládám jako elektronickou přílohu k mé práci.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
28	[column	names]										
29	sats	time	lat	long	velocity	heading	height	vert-vel	yaw-calc	slip	YAW__	YAW_
30	[data]											
31	10	132636,1	2998,354	-1071,21	0,98	0	312,34	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
32	10	132636,2	2998,354	-1071,21	1,35	204,61	312,34	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
33	10	132636,3	2998,354	-1071,21	1,64	200,62	312,34	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
34	10	132636,4	2998,354	-1071,21	1,87	200,83	312,34	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
35	10	132636,5	2998,354	-1071,21	2,18	200,47	312,35	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
36	10	132636,6	2998,354	-1071,21	2,53	198,07	312,36	0,036	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
37	10	132636,7	2998,354	-1071,21	3,13	197,48	312,35	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
38	10	132636,8	2998,354	-1071,21	3,59	197,22	312,36	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
39	10	132636,9	2998,354	-1071,21	4,24	197,92	312,36	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
40	10	132637	2998,354	-1071,21	4,92	198,77	312,37	0,036	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
41	10	132637,1	2998,354	-1071,21	5,61	198,46	312,39	0,072	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
42	10	132637,2	2998,354	-1071,21	5,96	198,04	312,41	0,108	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
43	10	132637,3	2998,354	-1071,21	6,68	198,42	312,4	0,108	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
44	10	132637,4	2998,354	-1071,21	7,06	199,7	312,41	0,072	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
45	10	132637,5	2998,354	-1071,21	7,57	200,22	312,42	0,108	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
46	10	132637,6	2998,354	-1071,21	8,1	201,06	312,43	0,18	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
47	10	132637,7	2998,353	-1071,21	8,31	202,43	312,45	0,216	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
48	10	132637,8	2998,353	-1071,21	8,99	203,3	312,47	0,252	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
49	10	132637,9	2998,353	-1071,21	9,29	204,79	312,5	0,36	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

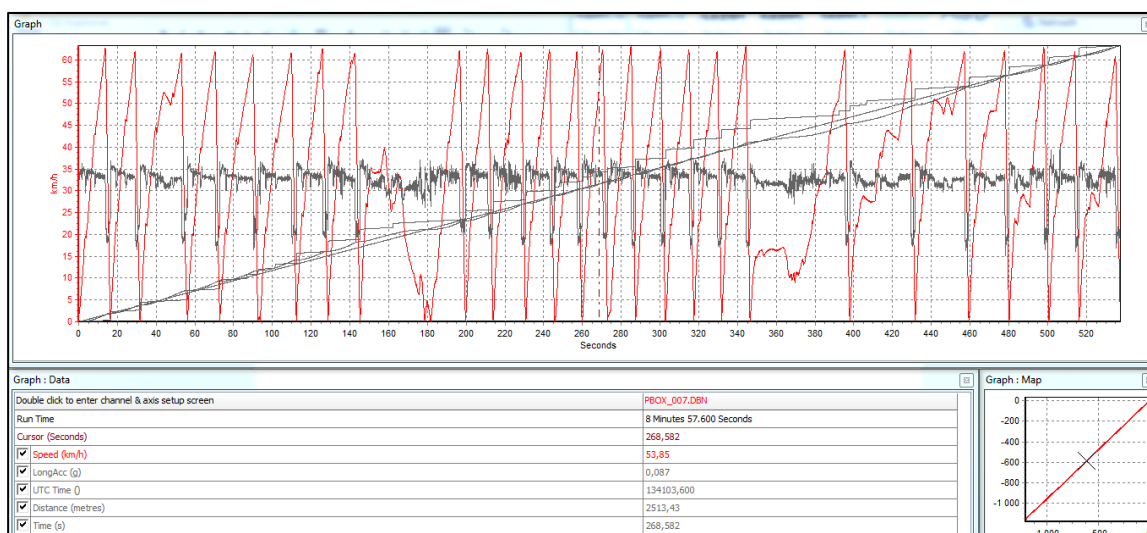
Obr. 18 – Ukázka výstupu dat z měřicího přístroje

4. Posuzování vybraných parametrů

V této kapitole vypočítám a porovnáím výsledky měření s podmínkami předpisu EHK 13-H.

4.1. Výsledky měření

Přístrojem Racelogic jsem provedl celkem 26 měření. Prvních 19 jsem brzdy zahříval pouze provozním brzděním. Posledních 7 jsem chvíli jel se zároveň zašlápnutým plynovým i brzdovým pedálem, abych brzdy více zahřál a tím více otestoval vliv teploty na brzdovou dráhu a zpomalení. Tento jev lze vidět na následujícím grafu, který byl vykreslen měřicím přístrojem (obr. 19). Při posledních sedmi měření lze pozorovat, že rychlosti 60 km/h trvalo dosáhnout podstatně déle než v předchozích měřeních. Toto počínání lze odpozorovat i na grafu teploty brzdových ploch uvedeném níže (obr. 22).



Obr. 19 – Graf měřicího přístroje Racelogic

4.1.1. Brzdná dráha

Brzdnou dráhu z 60 km/h na 0 km/h měřil přístroj automaticky a zapisoval je do odděleného textového souboru na SD kartě. Jak tento soubor vypadá můžeme vidět na obrázku dále (obr. 20). Díky automatickému zápisu nebyly tyto hodnoty nijak ovlivněny lidským faktorem. Pro kontrolu lze však tyto hodnoty porovnat s detailním výpisem hodnot z přístroje. Tento soubor je přiložen jako elektronická příloha. Data jsem přepsal do excelové tabulky, kde jsem poté příkazem „*PRŮMĚR*“ vypočítal průměrnou hodnotu, příkazem „*MEDIAN*“ střední hodnotu, „*VAR.P*“ rozptyl, „*SMODCH.P*“ směrodatnou odchylku a příkazy „*MIN*“ a „*MAX*“ zjistil minimální a maximální dosaženou hodnotu brzdné dráhy.

Brzdná dráha dle EHK 13-H nesměla v mém případě za rychlosti 60 km/h dle následujícího vzorce z tabulky (tab. 1) přesáhnout 27,6 metru.

$$s \leq 0,1 \cdot v + 0,006 \cdot v^2$$

$$s \leq 0,1 \cdot 60 + 0,006 \cdot 60^2$$

$$s \leq 27,6 \text{ [m]}$$

Kde jsem za v dosadil mnou testovanou rychlost 60 km/h.

Na následujícím obrázku (obr. 20) vidíme, jak přístroj zapisuje nejlepší dosažené výsledky z každého pokusu. Vidíme například naměřeny hodnoty akcelerace z 0 na 60 km/h, uraženou dráhu za tento úsek nebo dokonce přetížení při brzdění. V mém pokusu bude relevantní pouze hodnota „Braking results“ vyznačena červeně, která ukazuje vzdálenost uraženou při brzdění z 60 na 0 km/h, a čas za který byla tato dráha uražena.

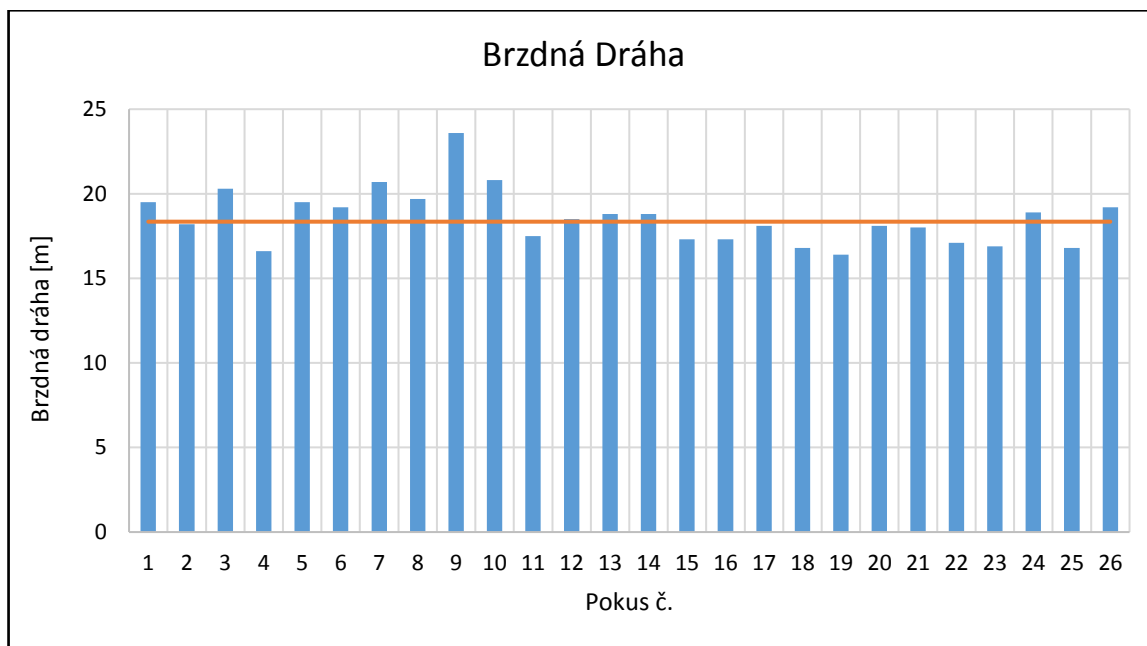
----- Run 0002 -----			
Time 13:26		Date 05/05/2018	
Accel results			
Speed(kmh)	Time(s)		
0-60	13.0		
0-100	----		
Accel Distance results			
Distance(m)	Time(s)	@Speed(kmh)	
0-100	11.9	56.2	
0-200	----	----	
0-400	----	----	
0-1000	----	----	
Braking results			
Speed(kmh)	Time(s)	Distance(m)	
60-0	02.4	19.5	
100-0	----	----	
User range			
Speed(kmh)	Time(s)		
30-50	04.4		
50-70	----		
0-100-0	----		
Misc			
Vmax	62.7kmh		
Vavg	44.9kmh		
AvgLatG	-0.01G		
PkLatG	0.47G		
PkAccelG	1.92G		
PkDecelG	0.82G		
----- Run 0003 -----			
Time 13:27		Date 05/05/2018	
Accel results			
Speed(kmh)	Time(s)		
0-60	12.0		
0-100	----		
Accel Distance results			
Distance(m)	Time(s)	@Speed(kmh)	
0-100	10.9	56.1	
0-200	----	----	
0-400	----	----	
0-1000	----	----	
Braking results			
Speed(kmh)	Time(s)	Distance(m)	
60-0	02.5	18.2	

Obr. 20 – Výstup dat z přístroje

Změřená data jsem následně zapsal do přehledné tabulky v programu Microsoft Excel (tab. 3) ze které jsem vytvořil graf (obr. 21), do kterého jsem pro přehlednost doplnil i střední hodnotu brzdné dráhy (oranžově).

Tab. 3 – Brzdná dráha

Pokus č.	60-0 [km/h]	
	Čas [s]	Vzdálenost [m]
1	2,4	19,5
2	2,5	18,2
3	3	20,3
4	2,2	16,6
5	2,5	19,5
6	2,4	19,2
7	2,7	20,7
8	2,4	19,7
9	2,8	23,6
10	2,6	20,8
11	2,1	17,5
12	2,3	18,5
13	2,3	18,8
14	2,3	18,8
15	2,1	17,3
16	2,1	17,3
17	2,3	18,1
18	2,1	16,8
19	2	16,4
20	2,3	18,1
21	2,3	18
22	2,2	17,1
23	2,2	16,9
24	2,3	18,9
25	2	16,8
26	2,4	19,2



Obr. 21 – Graf brzdné dráhy

Tab. 4 – Statistické vyhodnocení brzdné dráhy

Veličina	Hodnota [m]
Střední hodnota	18,35
Rozptyl	2,573136095
Směrodatná odchylka	1,604099777
Průměr	18,56153846
Minimum	16,4
Maximum	23,6

Jak z tabulek (tab. 3, tab. 4), tak z grafu (obr. 20) vidíme, že měřená brzdná dráha ani ve svém maximu nepřesáhla požadovanou hodnotu 27,6 m. Nelze si také nevšimnout abnormální výchylky v 9 měření, kdy hodnota vystoupila vysoko nad střední hodnotu, která je vyznačena oranžovou čarou. Tento jev vznikl nejspíše krátkým zablokováním kol při brzdění díky nečistotě na vozovce.

Rozptyl nabyl hodnoty přibližně 2,6 m. Myslím si, že tato situace nastala díky lidskému faktoru, konkrétně neschopnosti člověka působit na brzdový pedál naprosto stejnou silou při každém měření.

Tento test mohu tímto považovat za **úspěšný**. Ani v jednom měření jsem normu nepřekročil, ba naopak, v mnoha případech jsem hluboko pod požadovaným limitem 26,7 m.

4.1.2. Brzdné zpomalení

Brzdné zpomalení jsem počítal z následující tabulky (tab. 5), což jsou neupravená data tak, jak je zapisuje měřicí přístroj. Ten zapsal první dva sloupce, tedy čas kroku a rychlost v aktuálním čase. Nejmenší velikost kroku, kterou je přístroj schopen takto zapsat je $\Delta t = 0,1$ s. Mým úkolem tedy bylo dopočítat celkovou ujetou dráhu S , abych mohl dosadit do vzorce brzdného zpomalení uvedeného níže. Pro tuto operaci jsem musel dopočítat uraženou dráhu v daném časovém kroku. Tabulka odpovídá prvnímu pokusu měření.

Tab. 5 – Data pro výpočet brzdného zpomalení z přístroje RaceLogic

$\Delta t = 0,1$ s	v [km/h]	Δa [m ⁻²]	Δs [m]	S [m]
132649,9	62,42	-0,805555556	1,729861111	132,6191667
132650	61,34	-3	1,688888889	134,3080556
132650,1	59,01	-6,472222222	1,606805556	135,9148611
132650,2	56,9	-5,861111111	1,55125	137,4661111
132650,3	54,51	-6,638888889	1,480972222	138,9470833
132650,4	52,17	-6,5	1,416666667	140,36375
132650,5	49,78	-6,638888889	1,349583333	141,7133333
132650,6	47,43	-6,527777778	1,284861111	142,9981944
132650,7	44,46	-8,25	1,19375	144,1919444
132650,8	41,69	-7,694444444	1,119583333	145,3115278
132650,9	38,87	-7,833333333	1,040555556	146,3520833
132651	36,22	-7,361111111	0,969305556	147,3213889
132651,1	33,2	-8,388888889	0,880277778	148,2016667
132651,2	30,34	-7,944444444	0,803055556	149,0047222
132651,3	27,39	-8,194444444	0,719861111	149,7245833
132651,4	24,48	-8,083333333	0,639583333	150,3641667
132651,5	21,73	-7,638888889	0,565416667	150,9295833
132651,6	18,95	-7,722222222	0,487777778	151,4173611
132651,7	16,23	-7,555555556	0,413055556	151,8304167
132651,8	13,6	-7,305555556	0,34125	152,1716667
132651,9	11,5	-5,833333333	0,290277778	152,4619444
132652	9,56	-5,388888889	0,238611111	152,7005556
132652,1	7,61	-5,416666667	0,184305556	152,8848611
132652,2	5,65	-5,444444444	0,129722222	153,0145833
132652,3	3,61	-5,666666667	0,071944444	153,0865278
132652,4	1,63	-5,5	0,017777778	153,1043056
132652,5	0	-4,527777778	-0,022638889	153,0816667

V rychlosti $v_0 = 62,42$ km/h byla od samotného počátku měření (rozjezdu) ujeta dráha 132,62 m. V rychlosti $v_b = 49,936$ km/h byla od rozjezdu ujeta dráha 140,23 m. V rychlosti $v_e = 6,242$ km/h byla od rozjezdu ujeta dráha 152,81 m. Dráhy s_e a s_b ve vzorci jsem tedy spočítal tak, že jsem od ujetých drah v odpovídajících rychlostech odečetl dráhu ujetou při dosažení v_0 . Tím jsem dostal dráhy ujeté mezi v_0 a v_e , a v_0 a v_b .

Protože je nejmenší velikost kroku, kterou dokáže přístroj takto zapsat do tabulky 0,1s, a v tomto časovém úseku se nemusí nacházet přesná hodnota rychlosti pro výpočet, rozhodl jsem se tyto hodnoty odečítat přímo z grafu přístroje (obr. 19), kde jsem dosáhl posuvníkem přesné hodnoty rychlosti, a z tabulky pod grafem jsem odečetl odpovídající ujetou dráhu.

$$v_b = 0,8 \cdot v_0 \quad [\text{km/h}]$$

$$v_b = 0,8 \cdot 62,42 \quad [\text{km/h}]$$

$$v_b = 49,936 \quad [\text{km/h}]$$

$$v_e = 0,1 \cdot v_0 \quad [\text{km/h}]$$

$$v_e = 0,1 \cdot 62,42 \quad [\text{km/h}]$$

$$v_e = 6,242 \quad [\text{km/h}]$$

$$d_m = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92 \cdot (s_e - s_b)} \quad [\text{m/s}^2]$$

$$d_m = \frac{49,936^2 - 6,242^2}{25,92 \cdot ((152,81 - 132,62) - (140,23 - 132,62))} \quad [\text{m/s}^2]$$

$$d_m \cong 7,527 \quad [\text{m/s}^2]$$

Tab. 6 – Pomocné vzorce pro výpočet brzdného zpomalení

Zrychlení [m/s ²]	Dráha [m]	Celková ujetá dráha [m]
$\Delta a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	$\Delta s = v_0 \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot \Delta t^2$	$S = \sum_{i=142}^{5380} s_i$

Takto jsem vypočítal brzdné zpomalení pro každé z 26 měření. Výsledky jsou zapsány v tabulce (tab. 7).

Tab. 7 – Vypočítané brzdné zpomalení pro všechna měření

Pokus č.	dm [m/s ²]	v _b [km/h]	v _e [km/h]
1	7,527875707	49,936	6,242
2	7,439180008	48,584	6,073
3	6,700362724	48,368	6,046
4	8,347446391	48,496	6,062
5	6,604610506	48,328	6,041
6	6,828973229	48,664	6,083
7	6,70561438	49,416	6,177
8	6,807683934	48,864	6,108
9	6,021138778	48,864	6,108
10	6,819357826	48,352	6,044
11	8,116118	49,12	6,14
12	7,688605164	49,104	6,138
13	7,547011505	49,016	6,127
14	7,502089408	48,464	6,058
15	8,405531579	49,744	6,218
16	7,98990161	49,656	6,207
17	7,808764453	49,048	6,131
18	8,400873337	48,24	6,03
19	8,506484195	49,84	6,23
20	7,776487947	49,632	6,204
21	7,896961601	49,744	6,218
22	8,490112734	49	6,125
23	8,067354376	49,64	6,205
24	6,955358796	49,224	6,153
25	8,383368216	48,872	6,109
26	7,145811541	48,264	6,033

Tyto data jsem statisticky zpracoval do následující tabulky (tab. 8). Použil jsem k tomu vzorce z (tab. 2) a programu Microsoft Excel (viz. přiložená elektronická příloha).

Tab. 8 – Statistické vyhodnocení brzdného zpomalení

Veličina	Hodnota [m/s^2]
Střední hodnota	7,617808334
Rozptyl	0,477926025
Směrodatná odchylka	0,69132194
Průměr	7,557041459
Minimum	6,021138778
Maximum	8,506484195

Brzdné zpomalení dle předpisu EHK 13 H (tab. 1) nesmělo být menší než **6,43 m/s^2** . Z tabulky (tab. 7) vidím, že této hodnoty jsem nedosáhnul pouze v jednom případě, a to v měření č. 9. Tento jev, stejně jako v případě brzdné dráhy, si vysvětlují tím, že se na vozovce nejspíš nacházela nečistota, díky které došlo k zablokování kol a tím prodloužení brzdné dráhy, což ovlivnilo snížení hodnoty brzdného zpomalení. Střední hodnota dosáhla **7,61 m/s^2** , což je vyhovující výsledek. Maxima jsem dosáhl v měření č. 19, kdy hodnota dosáhla **8,51 m/s^2** .

Rozptyl činí pouhých **0,48 m/s^2** . Hodnoty nejsou kolem střední hodnoty příliš rozptýleny, což je dobrý výsledek, který poukazuje na pravidelnost měření.

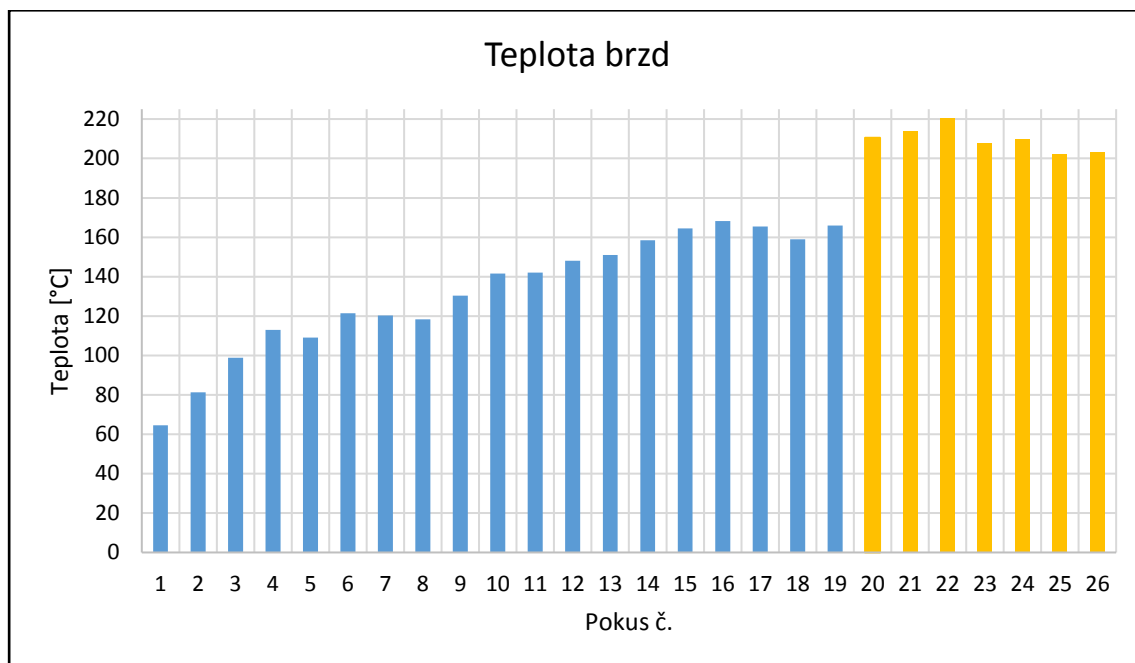
I tento test tedy považuji za **zdárný**. Hodnota požadovaná normou se mi povedla splnit s rozdílem větším než 1 m/s^2 .

4.1.3. Teplota Brzd

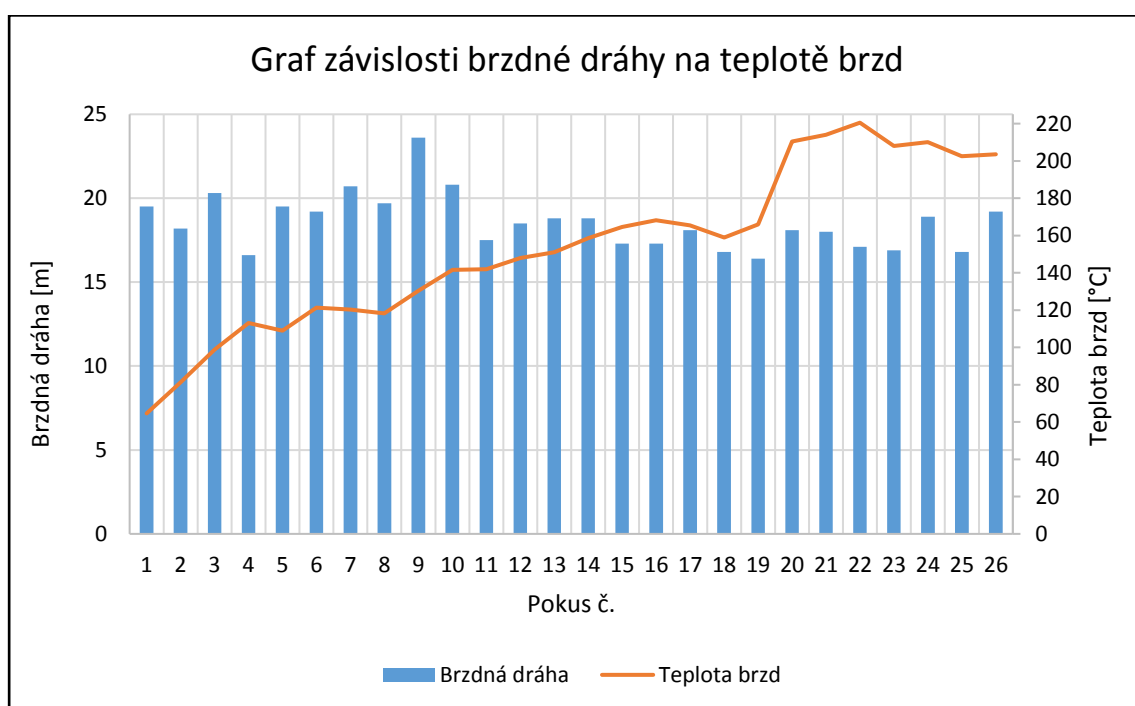
V mém experimentu jsem se také snažil zjistit, zda teplota brzd nějak ovlivní brzdnu dráhu vozidla. Naměřené hodnoty z každé strany brzd na vozidle po každém pokusu jsem zapsal do tabulky (tab. 9), a jejich hodnotu zprůměroval. Pokus 0 značí začátek experimentu, před samotným měřením. Hodnoty vyznačené žlutým podkladem jsou hodnoty, kdy jsem úmyslně zvyšoval teplotu brzd za účelem dosažení vyšší teploty, které nebylo možno pouhým provozním brzděním dosáhnout.

Tab. 9 – Změřené teploty brzd

Pokus č.	Teplota Levého disku [°C]	Teplota Pravého disku [°C]	Průměr [°C]
0	47,9	48	47,95
1	66,4	62,8	64,6
2	89,7	72,9	81,3
3	107,8	90,0	98,9
4	118,2	107,9	113,05
5	115,0	103,0	109
6	125,7	117,0	121,35
7	125,5	115,0	120,25
8	121,6	115,0	118,3
9	126,6	134,2	130,4
10	143,0	140,0	141,5
11	142,0	142,0	142
12	149,0	147,0	148
13	157,0	145,0	151
14	160,0	157,0	158,5
15	170,0	159,0	164,5
16	174,0	162,5	168,25
17	171,0	160,0	165,5
18	166,0	152,0	159
19	171,0	161,0	166
20	214,0	207,0	210,5
21	214,0	214,0	214
22	220,0	221,0	220,5
23	208,0	208,0	208
24	211,0	209,0	210
25	202,0	203,0	202,5
26	207,0	200,0	203,5



Obr. 22 – Graf teploty brzd při jednotlivých měřeních



Obr. 23 – Graf závislosti brzdové dráhy na teplotě brzd

Při porovnání obou grafů, jak brzdné dráhy, tak teploty brzd, vidím, že při dosáhnutí teploty přibližně 140 °C se brzdná dráha lehce zkrátila a ustálila. Z tohoto jevu vyvozují, že rostoucí teplota brzd má pozitivní vliv na koeficient tření mezi brzdovou destičkou a kotoučem, čili brzdnou dráhu vozidla. Tento trend však nepokračuje do nekonečna. Je omezen horní hranicí přibližně 400 °C, kde dochází ke změně průběhu koeficientu tření

při brzdění. K této teplotě jsem se v mém případě však nepřiblížil. Toto tvrzení potvrzuje i graf (obr. 12).

5. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo ověřit, zda i při použití zimní směsi pneumatik v letním ročním období splní vůz požadavek předpisu EHK 13 H na brzdnou dráhu a brzdné zpomalení vozidla, a jaký vliv má na tyto parametry teplota brzd vozu. K řešení této problematiky bylo třeba se nejdříve seznámit s obecnými vlastnostmi brzdového systému, vybrat vhodný testovací vůz, určit podmínky a metodiku zkoušky a poté zkoušku v praxi provést, analyzovat a zpracovat výsledky. K provedení a analýze zkoušky jsem využil přístroj naší katedry Racelogic PerformanceBox v osobním vlastnictví Ing. Pavla Dreslera, kterému tímto za zapůjčení děkuji.

Zkouška probíhala ve dvou hlavních částech. První část se skládala z rozjetí se na požadovanou rychlost 60 km/h a následného provozního brzdění. Tuto část zaznamenával přístroj Racelogic do souboru, který jsem později využil k výpočtu a statistické analýze brzdné dráhy a brzdného zpomalení. Druhá část, tedy vliv teploty na brzdnou dráhu a brzdné zpomalení vozidla, zahrnovala měření teploty disků brzd po každém provozním měření. Tyto data jsem následně zapsal do tabulky a porovnáním s daty brzdné dráhy jsem vyvodil trend vlivu teploty na brzdnou dráhu vozidla.

První část mé bakalářské práce jsem vyhodnotil jako **úspěšnou**. Brzdná dráha ani v jednom z provedených měření nepřesáhla hodnotu určenou EHK předpisem. Zkouška brzdného zpomalení bylo rovněž úspěšná, kdy se mi povedlo předpis splnit s dostatečnou rezervou.

V druhé části mé práce jsem při porovnání grafu teploty brzd a grafu brzdné dráhy vozidla mohl sledovat trend, který ukazoval že při zahřátí brzdových ploch do určité teploty se **brzdná dráha lehce zkracuje** díky zvýšení koeficientu tření mezi brzdícími plochami. Po dosažení určité teploty (tato teplota se mění v závislosti na mnoha faktorech brzdového disku a destičky, jedná se však o teplotu dosahující přibližně 400 °C) se koeficient tření snižuje.

Seznam použité literatury

1. Matějka, R. *Vozidla silniční dopravy I*. Bratislava: Alfa Bratislava, 1990. ISBN 80-05-00392-7.
2. Matějka, R. *Vozidla silniční dopravy II*. Bratislava: Alfa Bratislava, 1990. ISBN 80-7100-074-4.
3. Ing. Michal Richtář, Ph.D.
4. NEYS, Adriaan. *In-Vehicle Brake System Temperature Model*. SE-412 96 Göteborg, Sweden, 2012. Master Thesis. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. AMS
5. RICHTÁŘ, Ing. Michal, Ing. Jakub ŠMIRAUS a Ing. Pavel DRESLER. *Stavba silničních vozidel* [online]. 2017. Ostrava, 2017 [cit. 2018-05-19]. ISBN 978-80-248-3264-7. Dostupné z: www.dvvv.cz
6. DRAYTON, Spencer, L. BROWN a R. M. JEX. *Údržba a opravy automobilů Citroën Saxo od 1996 do 2001: zážehové motory ... : vznětové motory ...* České Budějovice: Kopp, 2005. Jak na to? (Kopp). ISBN 80-7232-262-1.
7. *Brzdy a brzdový systém automobilu* [online]. 2011 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.autostylonline.cz/poradna/brzdy-a-brzdovy-system-automobilu>
8. *Konstrukční řešení silničních vozidel v MHD: Brzdy a brzdové soustavy* [online]. Ostrava [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mhd/konstrukce-brzdy.htm>
9. *Winter vs Summer Tires - What's The Difference?* [online]. Engineering Explained, 2016 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=tMhIbGtkTZw>
10. *Performance Box - Lap Timer, Speedometer, Accelerometer* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.vboxmotorsport.co.uk/index.php/en/products/performance-meters/performancebox>
11. *Dohoda o přijetí jednotlivých technických pravidel pro kolová vozidla, zařízení a části, které se mohou montovat a/nebo užívat na kolových vozidlech a o podmínkách pro vzájemné uznávání homologací, udělených na základě těchto pravidel*. In: . Ženeva: Organizace spojených národů, 2011, 13-H.

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat panu Ing. Michalu Richtáři, Ph.D. za poskytnutou pomoc při konzultacích, a za poskytnutí potřebné literatury a osobní rady a připomínky k mé práci. Také bych chtěl poděkovat panu Ing. Pavlu Dreslerovi za zapůjčení měřicího přístroje.